

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra automatizační techniky a řízení

Využití krokového motoru při měření statických
charakteristik snímačů

Usage Stepper Motor for Measured Static
Characteristics of Sensors

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Jiří Galia
Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra automatizační techniky a řízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Galia**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3902R001 Aplikovaná informatika a řízení
Téma: Využití krokového motoru při měření statických charakteristik snímačů
Usage Stepper Motor for Measured Static Characteristics of Sensors

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s prostředím Control Web a vlastnostmi inkrementálních snímačů.
2. Vytvořte návrh laboratorní úlohy umožňující měření charakteristik inkrementálního snímače (IRC).
3. Specifikujte programové a technické prostředky pro reálné zařízení sestavené podle Vašeho návrhu.
4. Vytvořte aplikaci v prostředí Control Web podporující měření základních charakteristik IRC snímače.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhňte směr dalšího řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NACHTIGAL CH. L. *Instrumentation and Control - Fundamentals and Applications*. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1993.
- [2] JANEČEK, J. 1993. *Distribuované systémy*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1993.
- [3] CONTROL WEB. *Manuál. Alcor - Moravské přístroje, a.s., 2007*. Dostupný z [www: <http://www.mii.cz>](http://www.mii.cz).
- [4] MICROCON 2009. *Manuály produktů firmy MICROCON, s.r.o.* Dostupný z [www: <http://www.microcon.cz>](http://www.microcon.cz).
- [5] ŠKUTA, J. *Monitorování a řízení technologických procesů [on-line]*. VŠB-TU Ostrava, 2004. Dostupný z [www: URL:http://352lab.vsb.cz](http://352lab.vsb.cz).
- [6] ZEZULKA, F. - HRUBÝ, P. *Nový standard sériové komunikační sběrnice na nejnižší úrovni řízení. Sdělovací technika 3/94*, str. 107.
- [7] SPÍRAL, L. - PRŮŠA, J. 1993. *Logické objekty a řízení II - programování logických automatů*. Plzeň: ZČU 1993. 131 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. RNDr. Lubomír Smutný, Dr.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21. května 2010

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3.).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít toto dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. května 2010

.....

podpis

Jiří Galia
Štramberská 1124/22
742 21 Kopřivnice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

GALIA, J. *Využití krokového motoru při měření statických charakteristik snímačů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2010, 50 s. Vedoucí práce: Škuta, J.

Bakalářská práce se zabývá tvorbou laboratorní úlohy, která umožňuje měření statických charakteristik rotačního IRC snímače ESSA pomocí krokového motoru MICROCON. Celá úloha je řízená programem CONTROL WEB 6. Tento program umožňuje odesílání řídicích příkazů krokového motoru v ASCII znacích po sériové lince a rovněž číst výstupní hodnoty z měřicího modulu USB - 4711. Tento modul je dodáván firmou ADVANTECH. Provádí záznam výstupních pulsů z IRC snímače a přes USB sběrnici jsou data odesílána do PC, kde se tato naměřená data dále zpracovávají. V práci jsou popsány vybrané technické prostředky, které byly použity laboratorní úloze.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

GALIA, J. *Usage Stepper Motor for Measured Static Characteristics of Sensors: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2010, 50 p. Thesis head: Škuta, J.

This Bachelor thesis deals with elaboration of laboratory task which would enable measuring of statistical characteristics of rotary IRC sensor ESSA with the help of MICROCON stepping motor. The whole task is controlled by the CONTROL WEB 6 programme. This programme enables sending control statements of the motor in ASCII symbols via serial link. It also enables reading the output values from the measuring device USB - 4711. This device is provided by ADVANTECH company. It performs recording of output pulses from IRC receiver and the data is then sent, via USB, to PC for further processing . In this thesis there are described the chosen technical devices which were used for solving the task.

OBSAH

strana

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ | 8 |
| ÚVOD..... | 9 |
| 1 CONTROL WEB 6..... | 10 |
| 1.1 Tvorba aplikací v Control Web 6..... | 10 |
| 1.2 Grafický editor | 11 |
| 1.2.1 Paleta přístrojů | 11 |
| 1.2.2 Inspektor přístroje | 12 |
| 1.3 Datový inspektor | 13 |
| 1.4 Možnost komunikace SCADA/MMI CW6 s okolím..... | 14 |
| 1.4.1 Přístroj Active_x | 14 |
| 1.4.2 Ovladače..... | 15 |
| 1.5 Rotační inkrementální senzory..... | 16 |
| 2 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY..... | 19 |
| 3 SPECIFIKACE TECHNICKÝCH A PROGRAMOVÝCH PROSTŘEDKŮ..... | 21 |
| 3.1 Krokový motor | 21 |
| 3.1.1 Základní definice pojmů krokového motoru..... | 21 |
| 3.1.2 Obecný princip funkce hybridních krokových motorů..... | 23 |
| 3.1.3 Krokový motor SX 17 - 0804 | 24 |
| 3.2 Programovatelné jednotky CDxxM | 26 |
| 3.2.1 Kontrolér M1486xx..... | 27 |
| 3.2.2 Programovatelná jednotka CD20M | 28 |
| 3.3 IRC snímač SR 5825 - 500 | 28 |
| 3.4 Měřicí modul USB - 4711..... | 29 |
| 3.5 Komunikační rozhraní úlohy | 30 |
| 3.5.1 Sběrnice RS - 232 | 30 |
| 3.5.2 Sběrnice USB..... | 31 |
| 3.6 Programové prostředky navržené úlohy | 32 |
| 3.6.1 Konfigurace ovladačů v CONTROL WEB 6 | 32 |
| 4 POPIS VYTVOŘENÉ APLIKACE V CONTROL WEB 6..... | 34 |
| 4.1 Úvodní okno aplikace | 34 |

| | | |
|---------------------------------------|--|-----------|
| 4.2 | Ovládání krokového motoru | 35 |
| 4.3 | Měření závislosti počtu pulsů na úhlu natočení | 36 |
| 4.4 | Měření závislosti frekvence pulsů na rychlosti otáčení | 37 |
| ZÁVĚR..... | | 39 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | | 41 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | | 43 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

| | |
|----------|---|
| ASCII | Zkratka pro americký standardní kód pro výměnu informací (American Standart Code for Information Interchange) |
| CMOS | Kov-oxid-polovodič (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) |
| COM | Sériový port |
| CW6 | Control Web 6 |
| KM | Korový motor |
| RS - 232 | Sériová sběrnice |
| OPC | Standardní komunikační rozhraní prvků průmyslové automatizace (OLE for Process Control) |
| PLC | Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller) |
| IRC | Inkrementální rotační snímač |
| SCADA | Supervizní řízení a sběr dat (Supervisory Control And Data Acquisition) |
| TCP/IP | Sada síťových protokolů (Transmission Control Protokol/ Internet Protocol) |
| TTL | Třída (způsob provedení) logiky digitálních integrovaných obvodů |
| USB | Universální sériová sběrnice (Universal Serial Bus) |
| I | Proud [A] |
| f_k | Kmitočet kroků [Hz] |
| f_s | Kmitočet řídicího signálu [Hz] |
| J_z | Moment setrvačnosti zátěže [$N.m^2$] |
| M_s | Statický moment [$N.m$] |
| U | Napětí [V] |
| α | Velikost kroku [$^\circ$] |
| β | Statický úhel zátěže [$^\circ$] |

ÚVOD

V současné průmyslové infrastruktuře je velice důležité přesně měřit polohy obráběcích a textilních strojů, manipulátorů a robotů v papírenském a polygrafickém průmyslu např. pomocí rotačních IRC snímačů. Díky těmto snímačům, znalostí jejich statických charakteristik a možných chyb při vlastním měření jsme schopni vyrábět přesné výrobky a zamezit tak zbytečným ztrátám během výrobního procesu. Neméně důležitou součástí těchto strojů jsou jejich pohony, od kterých očekáváme, že vykonají zadaný pohyb s co možná nejvyšší přesností a v daném časovém intervalu.

Další potřebnou součástí celého výrobního procesu je vizualizace. Ta nám umožňuje zpětnou vazbu mezi uživatelem a řízenou soustavou. Vizualizační systémy by měly být schopny celý proces monitorovat a rovněž do něj zasahovat dle pokynů uživatele. K takovým systémům patří i program CONTROL WEB 6.

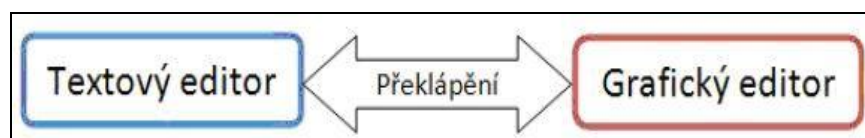
Tato práce nejprve popisuje program CONTROL WEB 6 a způsob tvorby aplikace v jeho prostředí. Jsou zde uvedeny možnosti, jak tento program propojit s okolními perifériemi a dále funkce ovladačů, jež umožňují zpracování a odesílání dat. V následující kapitole jsou popsány technické prostředky, které jsou v této práci použity. Každý prvek je podrobněji rozebrán, na jakém základním principu funguje, a také jsou u něj uvedeny jeho technické parametry. V poslední části práce je popsána aplikace, vytvořená ve vývojovém prostředí CONTROL WEB 6, která podporuje měření statických charakteristik rotačního IRC snímače pomocí krokového motoru. Rovněž umožňuje ovládat krokový motor zadáváním vlastních sledu příkazů přes textové okno.

1 CONTROL WEB 6

Programový systém Control Web vyvinula akciová společnost Moravské přístroje, která se od svého roku založení 1991 soustředí na vývoj a podporu hi-tech produktů v oblasti elektroniky a programového vybavení. Aplikace Control Panel a Control Web určené pro průmysl, laboratoře a školy se vyvíjejí více jak 15 let a staly se proto u nás nejpoužívanějším nástrojem v tomto oboru.

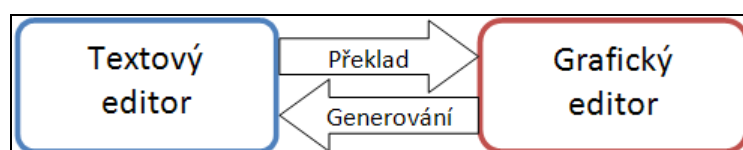
1.1 Tvorba aplikací v Control Web 6

Jakákoliv nová aplikace je většinou podmíněna jasným požadavkům na funkčnost a účel, za kterým má být vytvořena. Po stanovení jasných požadavků je důležité si uvědomit jakým způsobem danou aplikaci můžeme vytvořit. Systém Control Web 6 využívá pro tvorbu a vývoj aplikací tzv. *Dvoucestné programování*. V podstatě se jedná o dvě vývojové prostředí, grafický editor a textový editor. Tyto prostředí jsou navzájem propojené a jakákoliv změna v jednom prostředí se okamžitě projeví do druhého. Takový druh procesu se nazývá překlápění [Manuál CW6].



Obr. 1 Vazba mezi prostředími v CW6 [Šofér 2008]

Architektura v systému Control Web 6 je hierarchická i když z obr. 1 to tak na první pohled vypadá. Mezi textovým a grafickým editorem jsou pevně dány priority, na které se musí brát ohled. Aplikace, které jsou vytvořené v grafickém editoru jsou snadno zapamatovatelné a přehledné i pro uživatele, který v tomto prostředí dělá poprvé. Při porovnání stejné aplikace v textovém editoru by mnohým lidem textová forma zápisu nic neřekla. Avšak pro počítače je textová forma zápisu optimální k zapamatování a tudíž jsou všechny aplikace vytvořené v CW6 ukládány jako text.



Obr. 2 Překlad a generování v CW6 [Šofér 2008]

Jakákoliv aplikace se dá vytvořit v textovém editoru. Na problém narazíme tehdy, pokud chceme takovou aplikaci přeložit a pracovat s ní v grafickém editoru. Control Web 6 totiž striktně vyžaduje přesné psané tvary zápisu aplikace. Při nedodržení těchto zásad a tvarů vyvolá program při překladu chybu [Manuál CW6].

1.2 Grafický editor

Grafický editor se skládá z několika logicky rozdělených částí, které by bez sebe navzájem byly nesmyslné a nefunkční. Pro popis je důležité celý grafický editor rozdělit a jednotlivé části popsat postupně. Komunikaci s reálným světem, použitá data, vnitřní údaje a nastavení parametrů aplikace shrnují *Datové inspektory*. Nabídku přístrojů s jejich popisem nalezneme v *Paletě přístrojů*. Prostor, kde se zobrazuje vizuální návrh, řízení běhu aplikace pokrývá hlavní část vývojového prostředí, vlastní *Grafický editor*. U každého vloženého přístroje lze měnit a upravovat jeho nastavení v *Inspektoru přístroje*. Do Grafického editoru lze vkládat jednotlivé přístroje dle potřeby a můžeme jejich vlastnosti popřípadě měnit, tak jak si to žádá zadaná úloha [Manuál CW6].



Obr. 3 Obrázek a grafického editoru

1.2.1 Paleta přístrojů

V levé části palety přístrojů nalezneme strom, ve kterém si můžeme vybrat přístroj z příslušné kategorie. Pomocí výběrového seznamu nad stromem lze rovněž strom přepnout pro zobrazení knihoven přístrojů neboli přístrojů rozčleněných podle jejich příslušností ke knihovnám. Ve stromu je možno se libovolně pohybovat a dostávat se do různých podúrovní určitých větví.

V pravé části se nám zobrazují všechny dostupné přístroje z dané kategorie, které Control Web 6 nabízí. Vybraný přístroj lze snadným způsobem přenést do grafického editoru a poté s ním dále pracovat a nastavovat jeho vlastnosti [Manuál CW6].



Obr. 4 Paleta přístrojů

1.2.2 Inspektor přístroje

Inspektor přístroje je základní nástroj grafického editoru, pomocí něhož jsme schopni editovat jakýkoliv vložený přístroj. Můžeme upravit jeho parametry, přidávat procedury, navazovat proměnné a jiné důležité akce, dle požadavků uživatele. Každý přístroj má odlišný datový inspektor, jelikož se může lišit v několika charakteristických parametrech od jiných přístrojů.

Poprvé otevřený inspektor vždy obsahuje právě aktuální data přístroje, která byly nadefinované softwarem CW6. Veškeré změny, které provede uživatel, se uskuteční pouze uvnitř inspektoru a neovlivňují vlastní editovaný přístroj. Editaci přístroje lze ukončit dvěma způsoby a to buď s uložením a použitím úprav nebo zrušením bez uložení jakýkoliv změn. Jakoukoliv úpravu je nutné potvrdit a uložit, aby se změna projevila ve funkci přístroje [Manuál CW6].



Obr. 5 Okno inspektoru přístroje

1.3 Datový inspektor

Aby byly přístroje vytvořené v grafickém editoru funkční, je třeba jim poskytnout datové elementy, se kterými by měly pracovat a právě toto nám plně poskytuje datový inspektor. Datové proměnné, vytvořené v tomto inspektoru se ukládají vždy jako globální a to je pro nás velkou výhodou, protože jsou díky tomu dostupné všem přístrojům v aplikaci a jejich procedurách [Manuál CW6].

Datové elementy slouží k uchování dat. Control Web rozeznává čtyři hlavní skupiny a to:

- Logické hodnoty (boolean), obsahují binární hodnotu vyjadřující stav zapnuto/vypnuto (true/false).
- Číselné hodnoty, jsou desetinné (real, shortreal) nebo celá čísla (shortint, shortcard, ineger, cardinal, longint, longcard), a to se znaménkem (real, shortreal, shortint, ineger, longint) nebo bez znaménka (shortcard, cardinal, longcard).
- Řetězce znaků (string), které obsahují skupiny písmen (libovolně kromě znaků s hodnotou 0) bez omezení délky, které se zapisují do apostrofů ('').
- Datový typ buffer obsahující blok paměti.

[illegible]

Obr. 6 Obrázok a datového inspektora

1.4 Možnost komunikace SCADA/MMI CW6 s okolím

Systém Control Web 6 nabízí několik možností, jak spolupracovat s vnějšími systémy. Díky tomu má nekonečné možnosti uplatnění ve všeobecné praxi. V kapitole budou popsány vybrané komponenty, které umožňují vzájemnou komunikaci na základě svých specifických vlastností.

1.4.1 Přístroj Active x

Přístroj Active_x pracuje jako obecný kontejner schopný ve své ploše vytvořit a zobrazit komponentu odpovídající specifikaci Active_x firmy Microsoft. Pomocí této vlastnosti je přístroj schopen zabudovat do aplikace různé komponenty, např. Windows Media Player přehrávající MPEG nebo AVI video, Adobe Acrobat Reader zobrazující PDF dokumentaci, Macromedia Direktor zobrazující animace apod.

Technologie Active_x je velmi úzce svázaná s komponentou technologií COM (Component Object Model) a v řadě případů mnohé definice splývají. Technologie COM je v podstatě standart vytvořený programátory, který je registrován v rámci operačního systému a je použitelná pro jakoukoliv aplikaci využívající standardy COM [Manuál CW6].

Komunikace s Active_x komponentami se v principu děje několika způsoby:

1. Čtení a zápis vlastností (properties) komponenty.
2. Volání metod (procedur) komponenty.
3. Zpětné volání metod tzv. událostních rozhraní z komponenty do kontejneru při výskytu určité události.

1.4.2 Ovladače

System Control Web 6 umožňuje spravovat ve svém prostředí několik ovladačů, které jsou určeny jak pro ladění a testování aplikací, tak i pro nasazení v reálném technologickém procesu.

- Virtuální ovladač, modelový ovladač a simulační ovladač Dummy s SimBuf slouží k ladění a testování aplikací.
- DDE, OPC, TCP/IP, ASCII, ADVBUF a ADVPCCL slouží pro běžné použití v reálných aplikacích.

ASCII

Tento ovladač umožňuje přijímat a vysílat textové řetězce přes sériové rozhraní počítače COM. Řetězec je ukončen speciálním znakem nebo dvojicí znaků (terminátor). Při vysílání je k němu automaticky připojen. Při příjmu, slouží jako detekce konce řetězce. Jako terminátor můžeme použít standardní znaky CR, LF nebo jejich dvojici CRLF, popřípadě může být zadán jiný libovolný znak nebo skupinu znaků s kódy různými od NULL (0) [Manuál CW6].

TCP/IP

Ovladač je určen pro spojení několika aplikací Control web, které běží na různých počítačích. Tyto počítače jsou spojeny v rámci počítačové sítě, nebo se dají spojit přes telefonní linky pomocí modemů. Ke komunikaci se používá síťový protokol TCP/IP.

Ovladač se funkčně skládá ze dvou částí. První část je ta, která poskytuje data (hodnoty kanálů) pro jiné aplikace - server. Druhou část tvoří klient, který komunikuje s jedním nebo několika servery. Jeden ovladač je možno nakonfigurovat tak, že je buď server, nebo klient anebo současně server i klient. V rámci jednoho ovladače může klient komunikovat s více servery [Manuál CW6].

OPC

OLE for Process Control (OPC) představuje první úspěšnou iniciativu standardizující komunikační rozhraní mezi prvky průmyslové automatizace - průmyslové automaty, čidly a akčními členy na jedné straně a řídicími či operátorskými počítači a průmyslovými informačními systémy na straně druhé. Technicky je standart OPC založen na komponentové technologii COM firmy Microsoft. Přenosy dat v OPC se provádějí pomocí čtyř způsobů tak, aby vyhověly různým požadavkům [Manuál CW6].

ADVBUF

Ovladač ADVBUF je určen pro rychlá čtení dat z měřících karet od firmy ADVANTECH a k přenosu těchto hodnot prostřednictvím kanálu typu buffer do aplikace systému Control Web. Pro spuštění převodu hodnot z analogových vstupů se využívá hardwarového přerušení. Kromě toho ovladač umožňuje číst digitální vstupy karet a nastavovat analogové a digitální výstupy karet [Manuál CW6].

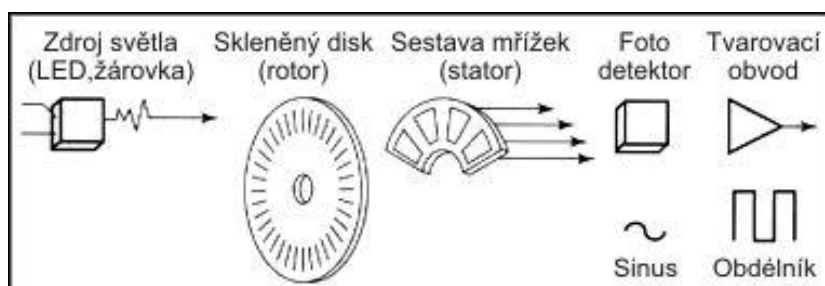
ADVPCCL

Ovladač ADVPCCL slouží pro komunikaci s kartami ADVANTECH PC LabCards a systémem Control Web. Ovladač vyžaduje ke své funkci rozhraní ADSAPI dodávané firmou Advantech pro podporu PC LabCards pro systém Windows XP. Pro konkrétní použití se konfiguruje prostřednictvím parametrického souboru [Manuál CW6].

1.5 Rotační inkrementální senzory

Inkrementální senzory nachází největší uplatnění ve zpětnovazebních systémech řízení polohy, rychlosti a popř. zrychlení v nejrůznějších aplikacích od periférií počítačů, přes průmyslovou robotiku až po zdravotnickou techniku. Jejich hlavními parametry je velká rozlišovací schopnost, malé rozměry a hmotnost. Jsou určené pro převod rotačního pohybu na elektrické pulsy. Počet těchto pulsů je přímo úměrný úhlu natočení a frekvenci rychlosti otáček.

Název inkrementální vychází z principu činnosti, který je založený na otáčivém mezikruží s pravidelně se střídajícími průhlednými a neprůhlednými ploškami (ryskami). Kde při jejich otáčení dochází k přerušování emitovaného světla svítivé diody (LED) umístěné na jedné straně tohoto mezikruží viz obr.7 [Novák 2002].



Obr. 7 Princip funkce vyhodnocování signálu z inkrementálního enkodéru [Ritek 2010]

Průchod světla je detekován fototranzistorem (fotodetektozem), umístěným na druhé straně mezikruží naproti svítivé LED diody. Do optické cesty mezi zdrojem a přijímačem světla je mimo otáčející skleněný disk zařazen u většiny snímačů ještě nepohyblivý maskovací kotouč s ryskami o stejné rozteči, jako má kotouč pohyblivý.

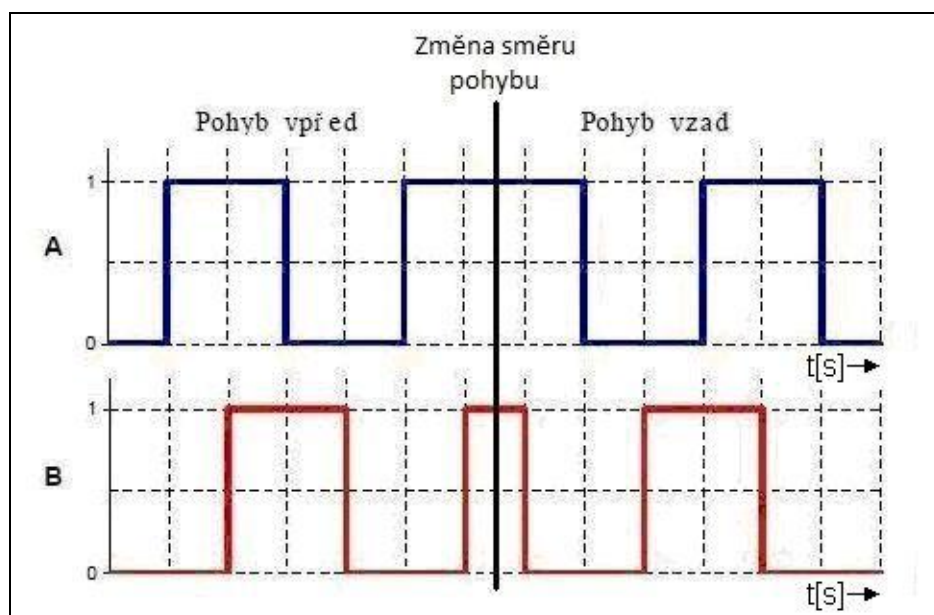
Světlo ze zdroje prochází přes průhledné rysky pohyblivého kotouče. Během otáčení pohyblivého kotouče se periodicky opakují dva děje. V prvním případě, jsou-li v zákrytu průhledné rysky pohyblivého kotouče a průhledné rysky segmentu pevného maskovacího kotouče, dopadá na fotosenzor maximální světelný tok. V druhém případě že jsou v zákrytu neprůhledné rysky pohyblivého kotouče a průhledné rysky segmentu nepohyblivého kotouče, světlo neprochází a světelný tok na fotosenzor je minimální. Mezi těmito polohami se světelný tok mění přímo úměrně s posunutím obou kotoučů. Výstupní signál fotosenzoru má periodu nepřímo úměrnou počtu rysek na otáčku a rychlosti otáčení pohyblivého kotouče. Výsledný signál je nazýván kvazisinusový a komparátorem se dále převádí na signál obdélníkového průběhu.

Aby byl rozlišen smysl otáčení, je na maskovacím kotouči senzoru polohy vytvořen druhý segmentem s ryskami posunutými vůči ryskám prvního segmentu o úhel

$$\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{2\pi}{n} \quad (1)$$

kde n je počet rysek (průhledných nebo neprůhledných) na obvodu kotouče a k je celé číslo. K dalšímu segmentu musí být přiřazen druhý fotosenzor, snímající fázově posunutý světelný tok. Signál z prvního fotosenzoru se označuje A, signál z druhého fotosenzoru B. Detekováním sekvencí stavů generované signály A a B, můžeme rozeznat směr otáčení viz obr. 8. Tyto signály se též nazývají kvadraturní.

K dispozici je ještě další signál, nazýván Z nebo také nulový kanál, který udává referenční (nulovou) polohu hřídele enkodéru. Ten je vytvořen na otáčivém kotouči pomocí doplňkového otvoru (průhledné rysky) a je mu přiřazen vlastní zdroj světla a fotosenzor. Tento signál je ve fázi s kanálem A a také se využívá k detekci případné akumulované chyby polohy způsobené rušivými signály v rámci jedné otáčky [Novák 2002].

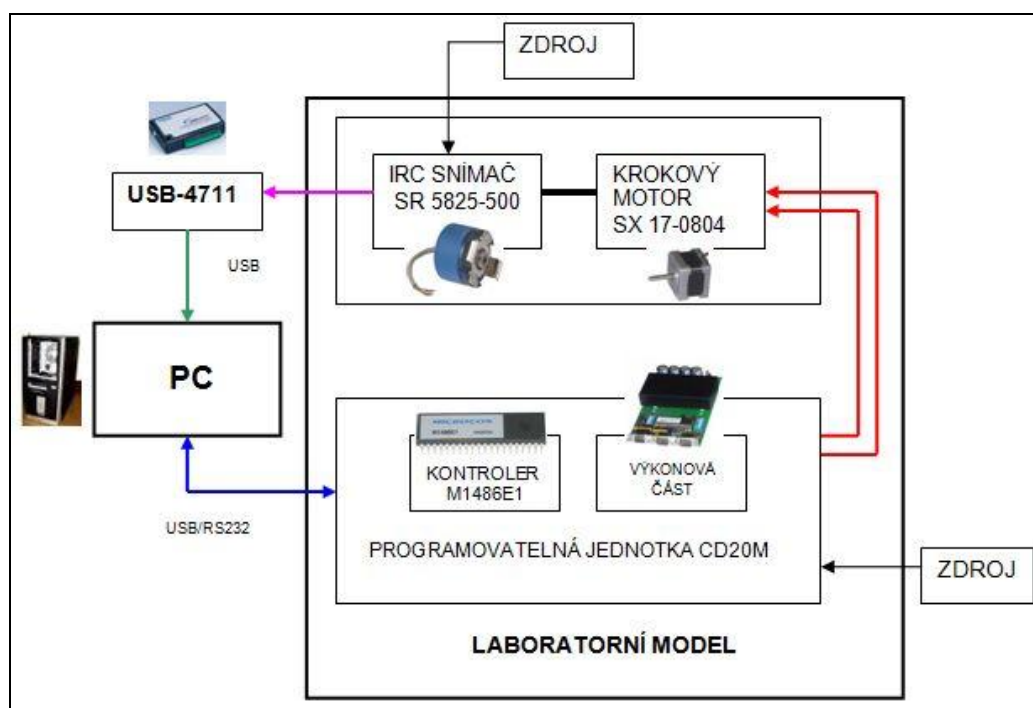


Obr. 8 Princip detekce směru otáčení enkodéru prostřednictvím použití dvou kanálů A a B [VOSRK 2010]

2 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY

Dle zadání této bakalářské práce a po prostudování starých laboratorních úloh, které se zabývaly měřením statických charakteristik IRC snímače, byly z těchto měření některé úlohy převzaty a doplněny. Velice důležitým přínosem této laboratorní úlohy spočívá v tom, že je zde použit krokový motor. Ten umožňuje relativně přesné nastavování úhlu natočení a počet otáček za sekundu. Další podstatnou změnou je, že se celá úloha ovládá z aplikace, jež je vytvořená ve vývojovém prostředí CONTROL WEB 6. Tato aplikace umožňuje nejen měření statických charakteristik, ale i ovládat krokový motor zadáváním vlastních příkazů přes textové okno.

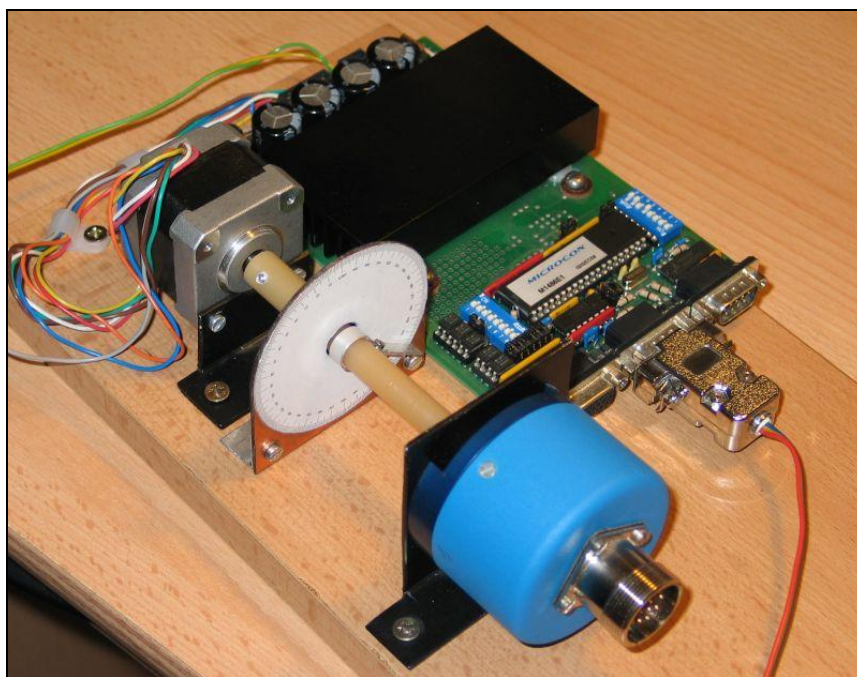
Po prokonzultování možností použití technických prvků mého návrhu celé měřicí úlohy se svým vedoucím jsem sestavil následující blokové schéma. Výběr jednotlivých prvků a jejich výrobců byl proveden s využitím internetu.



Obr. 9 Blokové schéma navržené úlohy

Z blokového schématu je patrné, že se celá úloha skládá ze dvou základních částí. První částí je deska, na které je upevněný laboratorní model a druhá je PC jednotka s rychlým měřicím modulem USB - 4711.

Na počítači běží aplikace, jež umožňuje odesílat řídicí data a přijímat měřené hodnoty. Řídicí data jsou povely k ovládání krokového motoru v ASCII znacích přes sériovou linku RS - 232 do programovatelné jednotky CD20M. Změřené výstupní hodnoty z IRC snímače jsou převedeny z analogové do digitální podoby pomocí již zmíněného modulu a odesílána přes USB kabel do PC.



Obr. 10 Laboratorní model

Na obr. 10 je zobrazen postavený laboratorní model, na kterém se provádí vlastní měření. Propojení krokového motoru a měřeného IRC snímače je provedeno pomocí pružné silikonové spojky, aby se částečně tlumily rázy a záchvěvy během chodu a rozběhu motoru. K silikonové ose je uchycena ručička, která na úhloměru zobrazuje úhel natočení. Tento ukazatel se především využije v měření v závislosti počtu pulsů na úhlu natočení hřídele, aby se pak dala také opticky odečíst a ověřit nastavená hodnota úhlu natočení krokového motoru během měření.

3 SPECIFIKACE TECHNICKÝCH A PROGRAMOVÝCH PROSTŘEDKŮ

V této kapitole jsou popsány technické a programové prostředky, které jsou ve vytvořené laboratorní úloze použity. Každý technický prvek je podrobněji popsán, na jakém principu pracuje a jsou také u něj uvedeny jeho technické parametry. Je zde také vysvětleno jakým způsobem jednotlivé prvky spolu komunikují.

3.1 Krokový motor

Krokové motory patří do speciální skupiny synchronních motorů. Krokový motor se liší od asynchronního tím, že při pohybu zaujímá určitý počet předdefinovaných poloh a to způsobuje jeho nespojitý pohyb. Ke změně polohy (takzvanému kroku) dochází pomocí působení vnějšího řídicího impulsu. Z toho plyne, že motor je napájen impulsně [Regulace - Automatizace 2009].

3.1.1 Základní definice pojmů krokového motoru

Krok- je mechanická odezva rotoru krokového motoru na jeden předem definovaný řídicí impuls, při němž rotor vykoná pohyb z výchozí magnetické klidové polohy do další nejbližší magneticky klidové polohy.

Velikost kroku α - je úhel daný konstrukcí a způsobem ovládání motoru, který odpovídá změně polohy rotoru jednoho řídicího impulsu.

Řídicí jednotka krokového motoru- řídí pohyb a režim chodu krokového motoru. Řízení se provádí tak, že budí jednotlivé fáze krokového motorku v určité časové posloupnosti. Řídicí jednotka musí zajistit výkonové buzení fází krokového motorku v předdefinované časové posloupnosti. Z toho vyplývá, že se řídicí jednotky skládají z výkonové části a komutátoru. Výkonová část je tvořena výkonovými spínacími prvky (tranzistory) jejichž počet odpovídá počtu fází krokového motoru. Komutátor je elektrické zařízení, které na základě požadavku uživatele řídí spínání výkonových spínacích prvků tak, aby každému spínacímu impulsu odpovídalo natočení krokového motorku o jeden krok [Rydlo 2000].

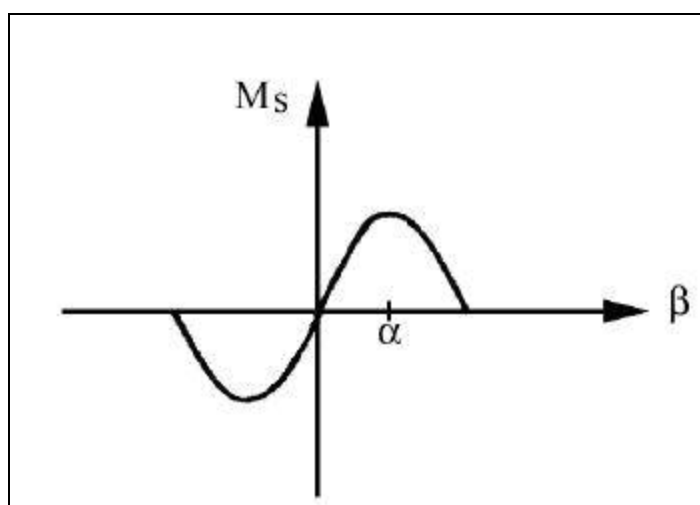
Otáčky rotoru- jsou určeny kmitočtem kroků f_k tj. počtem kroků za sekundu, které vykoná rotor krokového motoru. Kmitočet kroků f_k je stejný jako řídicí kmitočet řídicího signálu f_s v případě, když se rotor otočí bez ztráty kroku. Otáčky se určí pomocí následujícího vztahu:

$$n = \frac{60 \cdot f_k \cdot \alpha}{360} \quad (2)$$

Statický úhel zátěže β - je úhel o který se vychýlí rotor nebuzeného krokového motoru z magnetické klidové polohy při dané zátěži na hřídeli krokového motoru.

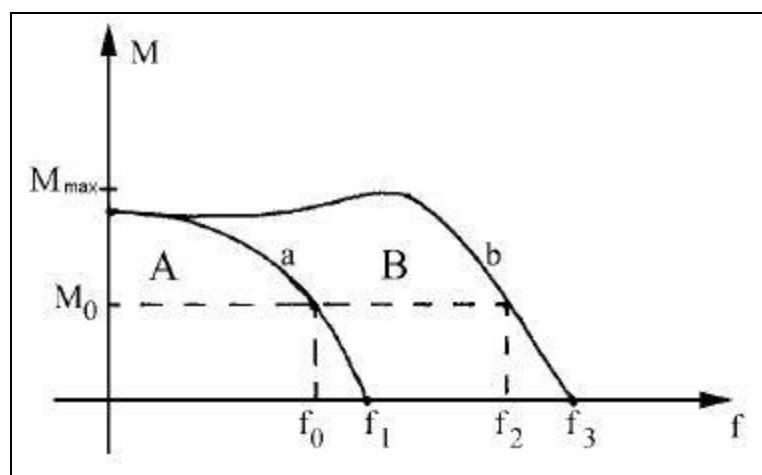
Statický moment M_s - je moment, který je v rovnováze s krouticím momentem působícím na hřídel stojícího krokového motoru a vychylujícím rotorem z magnetické klidové polohy o statický úhel zátěže. Maximální statický moment je při vychýlení rotoru právě α a velikost kroku α .

Statická charakteristika- krokového motoru je závislost statického momentu M_s na statickém úhlu zátěže β .



Obr. 11 Statická charakteristika krokového motoru [Rydlo 2000]

Momentová charakteristika- krokového motoru je závislost momentu M_z na kmitočtu f_k nabuzeného krokového motoru, který se otáčí pod zátěží. Křivka a je tzv. rozběhová charakteristika motoru pro moment zátěže J_z . Křivka b je tzv. provozní charakteristika krokového motoru [Rydlo 2000].



Obr. 12 Momentová charakteristika krokového motoru [Rydlo 2000]

3.1.2 Obecný princip funkce hybridních krokových motorů

Hybridní krokový motor je v podstatě jeden z druhu krokových motorů s axiálně polarizovaným permanentním magnetem. Rotor motoru je tvořen hřídelí z magnetického materiálu, na kterém jsou nalisovány dva pólové nástavce složené z plechů. Mezi pólovými nástavci je uložen permanentní magnet axiálně polarizovaný. Magnet je uložen tak, aby každý pólový nástavec měl jinou magnetickou polaritu. Rotorové pólové nástavce mají po obvodu zuby, jejichž počet určuje velikost kroku. (Například pro počet rotorových zubů 50 vychází velikost kroku $1,8^\circ$). Rotorové pólové nástavce jsou proti sobě v osové směru natočený o polovinu rotorové zubové rozteče (proti zubům jednoho nástavce leží drážky nástavce druhého). Na statoru je 8 pólů, na kterých je dvoufázové čtyřpólové vinutí, které jsou opatřeny drážkováním. Počty zubů statoru a rotoru nejsou stejné a obvykle se volí počet rotorových zubů větší. Fáze vinutí jsou v rytmu řídicích impulsů buzeny v předepsaném pořadí a to podle základního způsobu řízení. Vzniká točivé statorové magnetické pole. Rotor sleduje toto magnetické pole tak, že se vždy nejbližší zuby rotoru nastaví do magneticky klidové polohy.

Buzení krokového motorku s axiálně polarizovaným magnetem musí být dvoufázové a výkonové prvky by měly umožnit, aby směr magnetického toku v jednotlivých pólech statoru bylo možno měnit. Musí být zajištěna možnost měnit směr buďícího proudu v jednotlivých vinutích [Rydlo 2000].



**Obr. 13 Stator hybridního
krokového motoru [Řežač 2002]**



Obr. 14 Rotor hybridního krokového motoru [Řežač 2002]

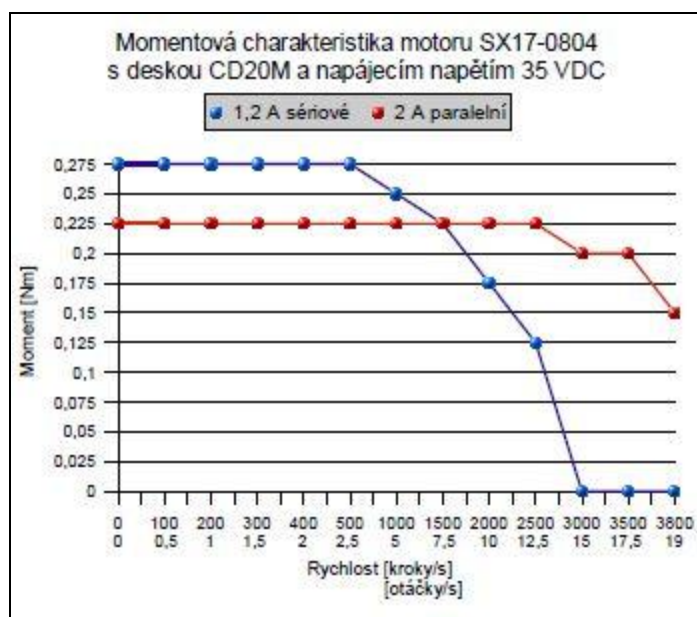
3.1.3 Krokový motor SX 17 - 0804

Při výběru vhodného krokového motoru, byla na internetu nalezena česká firma MICROCON. Tato firma má dlouholeté a bohaté zkušenosti ve výrobě těchto motorů, jak v ČR, tak v zahraničí s jejími distributorskými firmami. Ve svých produktech má širokou nabídku nejen hybridních krokových motorů, ale také dostatečně výkonných řídicích jednotek CDxxM.

Pro tuto úlohu byl z jejich sortimentu vybrán krokový motor typu SX 17 - 0804 v přírubě NEMA17 pro jeho malé rozměry a dobré parametry. V tab. 1 jsou uvedené základní technické parametry a na obr. 15 je zobrazena momentová charakteristika pro sériové i paralelní zapojení. Motory řady SX se vyrábějí v různém provedení, které se liší způsobem vyvedení hřídele a rozměry statoru. Na obr. 16 jsou vyobrazeny hybridní krokové motory SX vyrobené v přírubě NEMA17 v odlišných variantách provedení.

Tab. 1 Parametry krokového motoru SX17 - 0804 [Microcon 2009]

| Technické parametry | |
|---|------------|
| Délka kroku [°] | 1,8 |
| Statický moment [Nm] | 0,4 |
| Jmenovitý proud [A], sériové / paralelní | 1,2 / 2 |
| Indukčnost [mH], sériové / paralelní | 12,8 / 3,2 |
| Odpor [Ω], sériové / paralelní | 6 / 1,5 |
| Moment setrvačnosti rotoru [g.cm ²] | 32 |
| Hmotnost [kg] | 0,24 |



Obr. 15 Statická charakteristika krok. motoru SX17 - 0804 [Microcon 2009]



Obr. 16 Provedení přírub NEMA17 [Microcon 2009]

3.2 Programovatelné jednotky CDxxM

Programovatelné jednotky typu CDxxM slouží k řízení hybridních krokových motorů. Skládají se ze dvou základních částí, řídicí (komutátor), která je realizovaná kontrolorem M1486xx a části výkonové určené k bipolárnímu napájení krokového motoru pulzní regulací proudu.

Tyto jednotky obsahují 5 galvanicky oddělených uživatelských vstupů. Vstupní signály jsou odděleny přes optočleny. Připojovací konektory jsou typu CANNON 15 Pin/F. Dále jsou standardně k dispozici 4 universální vstupy a vstup limit pro přerušení běhu motoru také mimo rychlost start/stop nebo změnou polohy jumperu 5 univerzálních vstupů. Úroveň vstupu je 0; 24 V (7 mA) volitelně 0; 5 V.

Programovatelná jednotka také vlastní 4 uživatelské výstupy a přídavný výstup z interního spínacího zdroje 24 V zatížitelný do 100 mA. Jednotka umožňuje volit standardní výstupy a to buď aktivní v log. 0 – otevřený kolektor (do 30 V) nebo aktivní v log. 1 čehož se využívá především pro spolupráci s některými PLC. Výstupy v log. 0 mají zatížitelnost každého výstupu 100 mA a v log. 1 (standardně 0; 24 V) mají celkovou zatížitelnost 150 mA (max. proud jednoho výstupu v log. 1 je 40 mA).

Ve svém základním provedení umožňuje také mikrokrokování. Dělení kroku se provádí v osmi a šestnácti při plném využití 4 bit D/A převodníku. Ještě většího dělení kroku se dosáhne použitím jiného typu krystalu a řídicího kontroléru. Pomocí této funkce se zmenšují oscilace a rezonance během otáčení krokového motoru [Microcon 2009].



Obr. 17 Programovatelná jednotka CD20M [Microcon 2009]

3.2.1 Kontrolér M1486xx

Standardně jsou programovatelné jednotky osazeny kontrolorem M1486E1 s vnitřní pamětí pro povely EEPROM 2 000 bitů, která se uchovává i po vypnutí napájení. Kontrolér je ovládán jednoduchými povely pomocí ASCII znaků (je možné použít, jak velká tak malá písmena) a pro jejich přípravu stačí použít běžných textových editorů. Zadané povely jsou předávány prostřednictvím sériového kanálu kompatibilního s rozhraním RS - 232.

Kontrolér M1486 integruje v jednom obvodu plně programovatelné řízení krokového motoru i universální řídicí funkce (vstupy/výstupy) a umožňuje tak realizovat kompletní řízení stroje či zařízení [Microcon 2009].

Zde jsou uvedeny v bodech funkce kontroléru M1486:

- Programovatelný indexer a sequencer v jednom obvodu
- Rychlost až do 40 000 kroků/s
- Dělení až do 64 mikrokroků na celý krok
- Optimalizace využití momentu krokového motoru
- Výkonný soubor více než 50 - ti povelů
- Délka dráhy až 16 milionů kroků
- 21 universálních vstupů/výstupů
- Programovatelná maximální rychlost, start/stop rychlost, zrychlení, tvar proudu při mikrokrokování
- Sériový výstup, až 16 kontroléru může být připojeno na jeden port
- Nízkopříkonový CMOS obvod, TTL kompatibilita



Obr. 18 Kontrolér M1486E1 [Microcon 2009]

3.2.2 Programovatelná jednotka CD20M

Při výběru programovatelné jednotky se kladl důraz na to, aby bylo spolehlivě zajištěno napájení vybraného krokového motoru. Z nabídky MICROCON byl vybrán typ CD20M jehož parametry výkonové části, uvedené v tab. 2 bezpečně vyhovují požadavkům použitého motoru.

Tab. 2 Parametry programovatelné jednotky CD20M [Microcon 2009]

| Parametry výkonové části | |
|--|--|
| Napájecí napětí [V] | 15 - 35 |
| Amplituda proudu [A] | 0,4 - 2 |
| Nastavení proudu | v osmi stupních |
| Doporučený počet mikrokroků na celokrok | 4, 8, 16 |
| Automatické snížení proudu po zastavení motoru | Ano |
| Možnost programového vypnutí koncového stupně | Ano |
| Kapacita na jednotce [μF] | 4 000 |
| Statické momenty vhodných kroků [Nm] | 0,1 - 2 |
| Rozměry, standardní malý euro - formát [mm] | 160x100x30 |
| Doporučený napájecí zdroj PS 20 / 30 | |
| Parametry řídicí části | |
| Sériové rozhraní RS – 232 | Není galvanicky oddělená sériová linka |
| Počet jednotek připojených na jedno sériové rozhraní | až 16 |
| Počet uživatelských vstupů / výstupů | 5 / 4 |

3.3 IRC snímač SR 5825 - 500

Při výběru IRC snímače byla pomocí internetu nalezena česká firma ESSA. Tato firma se již od roku 1990 zabývá problematikou měření délek, úhlu natočení či otáček. Jejich rotační lineární snímače pracují na optoelektronickém nebo reflexním principu. Technologie výroby snímačů je výsledkem původního vývoje firmy OPTEN.

Z nabídky firmy ESSA byl vybrán snímač typu SR 5825 - 500 s vývodkou kabelu radiálně. Tento typ byl zvolen jednak z důvodu jeho parametru, ale také pro snadnou montáž hřídele ke snímači pomocí dvou šroubků. Těleso snímače je tvořené z hliníkové slitiny, v němž je uložen systém odečítání, skleněný rastrový pár, osvětluje systém s diodou LED a vyhodnocovací elektronikou. V tab. 3 jsou uvedeny nejdůležitější technické parametry vybraného IRC snímače [ESSA 2009].

Tab. 3 Parametry rotačního IRC snímače SR5825 - 500 [ESSA 2009]

| Technické parametry | |
|----------------------------------|---|
| Rychlost otáčení [ot./min] | 10 000 |
| Zatížení hřídele [N] | 40 až 50 |
| Rázy [G] | 50 (11 ms) |
| Vibrace [G] | 10 (10 až 2000Hz) |
| Hmotnost [kg] | 0,350 |
| Napájecí napětí [V] | 5 Vss, resp. 10 až 24 |
| Napájecí proud [mA] | 100 |
| Výstupní frekvence [kHz] | max. 300 |
| Druh krytí [-] | IP 65 |
| Izolační odpor [MΩ] | min. 20 |
| Pracovní teplota [°C] | 0 až 60 |
| Skladovací teplota [°C] | 20 až 70 |
| Výstupní signály při UN=5V | TTL - log 1 > 3,5 V při I < 10 mA - log 0 < 0,4 V při I < 10mA |
| Počet period na jednu otáčku [-] | 500 až 450 000 |

**Obr. 19 Rotační IRC snímač SR5825 – 500 [ESSA 2009]**

3.4 Měřicí modul USB - 4711

Měřicí modul USB - 4711 je výrobkem firmy ADVANTECH, která je již dlouholetým specializovaným dodavatelem PC techniky. Tento převodník se snadno připojuje pomocí USB kabelu a nevyžaduje žádný další externí napájecí zdroj. Po instalaci jeho ovladačů je modul připraven měřit nebo vysílat data ze svorkovnic v analogové či digitální podobě. Je velice spolehlivý, dostatečně robustní a hodí se nejen pro průmyslové aplikace [Havle 2007].

V laboratorní úloze se využívá jeho rychlého čítače v měření závislosti počtu pulsů na úhlu natočení a analogového vstupu společně s vnitřní pamětí FIFO při měření závislosti frekvence pulsů na rychlosti otáčení.

Tab. 4 Parametry měřicího modulu USB- 4711 [Havle 2007]

| Technické parametry | |
|---------------------|--------|
| Analogové vstupy | 16x SE |
| Analogové výstupy | 2x |
| Digitální vstupy | 8x TTL |
| Digitální výstupy | 8xTTL |
| Čítač | 1x |



Obr. 20 Měřicí modul USB - 4711 [Havle 2007]

3.5 Komunikační rozhraní úlohy

V sestavené úloze jsou dva způsoby přenosu dat. Jeden způsob mezi PC a programovatelnou jednotkou se děje pomocí sériové linky RS - 232 (řídící data) a dále mezi PC a převodníkem USB - 4711 (měřená data) se přenáší přes USB kabel. Tyto dva způsoby komunikace budou v této kapitole popsány.

3.5.1 Sběrnice RS - 232

Standard RS - 232, resp. jeho poslední varianta RS - 232C z roku 1969 (také sériový port nebo sériová linka) se používá jako komunikační rozhraní osobních počítačů a další elektroniky.

RS- 232 umožňuje propojení a vzájemnou sériovou komunikaci dvou zařízení. To znamená, že jednotlivé bity přenášených dat jsou vysílány postupně za sebou (v sérii) po jednom vodiči, podobně jako u síťové technologie Ethernet.

Standard definuje asynchronní sériovou komunikaci pro přenos dat. Pořadí přenosu datových bitů je od nejméně významného bitu po bit nejvýznamnější. Počet datových bitů je volitelný, obvykle se používá 8 bitů. Logický stav 0/1 přenášených dat je reprezentován pomocí dvou možných úrovní napětí, které jsou bipolární [Kulhánek 2007].



Obr. 21 Port RS232 [Wikipedie RS – 232, 2010]

3.5.2 Sběrnice USB

Zkratka USB znamená univerzální sériová sběrnice. Je to moderní způsob připojení periférií k počítači. Nahrazuje dříve používané způsoby připojení (sériový a paralelní port, PS/2 apod.) pro běžné druhy periférií tiskárny, myši, klávesnice atd. Komunikace zde probíhá sériově podobně jako u sběrnice RS - 232. Tento port v sobě obsahuje napájecí napětí pro připojená zařízení. Jeden USB řadič umožňuje připojit až 127 USB zařízení.

Výhodou této sběrnice je možnost připojování Plug a Play bez nutnosti restartování počítače nebo instalování ovladačů. [Kulhánek 2007].



Obr. 22 Konektory USB [Wikipedie USB 2010]

3.6 Programové prostředky navržené úlohy

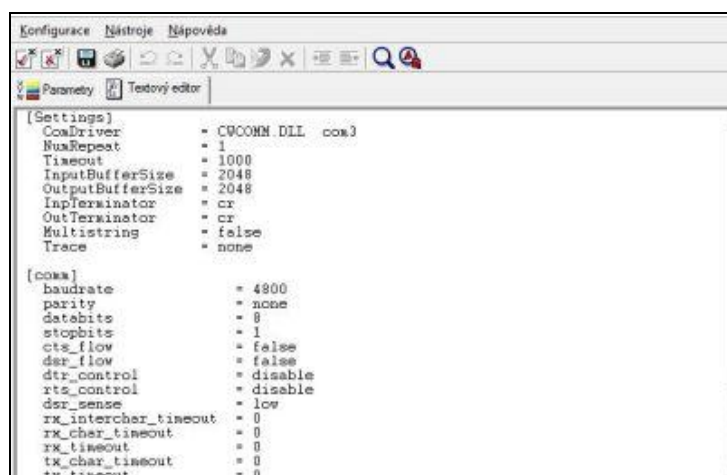
Jak již bylo zmíněno ve druhé kapitole, celá úloha je řízena z aplikace, která byla vytvořena ve vývojovém prostředí CONTROL WEB 6. V aplikaci jsou použity celkem tři ovladače pro ovládání vzdálených prostředků.

Proto, aby bylo zajištěno přijímání změřených dat z měřicího modulu, musely se do aplikace doinstalovat dodatečně dva ovladače. Jeden pro pomalé děje s názvem Advantech PC LabCards v 4.5. Tento ovladač vlastní kanál pro čtení pulsů z čítače, jenž se nachází v USB jednotce, jako jeden ze vstupů s názvem EVT_IN. Tohoto kanálu se využívá v první úloze, kde se měří závislost počtu pulsů na úhlu natočení hřídele. Druhý ovladač je určený pro rychlé děje s názvem Advantech PC LabCards v 4.7.0. Při použití tohoto ovladače se měřená data nejprve zapíší do vnitřní paměti FIFO v měřicím modulu USB - 4711 a až po zadání příkazu k jejich čtení jsou odeslány do PC k dalšímu zpracování. Pro měření závislosti frekvence pulsů na rychlosti otáčení hřídele je tento ovladač použit. Při rychlostech otáčení, které sou v této úloze zadávány, by ovladač pro pomalé děje nestačil pulsy na výstupku IRC snímače měřit. Pro navázání komunikace mezi měřicím modulem USB - 4711 a již zmíněnými ovladači, se musel nejdříve nainstalovat jeho vlastní ovladač dodáván výrobcem ADVANTECH drive V2.6.

Poslední ovladač zajišťující odesílání ASCII znaků po sériové lince RS – 232 do programovatelné jednotky se nazývá ASCII v.5.16.0.0. Tento ovladač je obsažen v základní instalaci CW6 a pro jeho použití jej stačilo pouze správně nakonfigurovat.

3.6.1 Konfigurace ovladačů v CONTROL WEB 6

Instalace a nastavení ovladačů v CW6 je pro všechny případy stejná. Každý ovladač, který je v aplikaci použit, musí mít dva soubory, aby s nimi CW6 mohl pracovat. Jsou to tzv. parametrické (s příponou .par) a mapovací (s příponou .dmf) soubory. Ty v sobě obsahují základní nastavení každého ovladače, které se mohou dle potřeby měnit. Příklad nastavení ASCII ovladače je zobrazen na obr. 23.



Obr. 23 Parametry ovladače ASCII

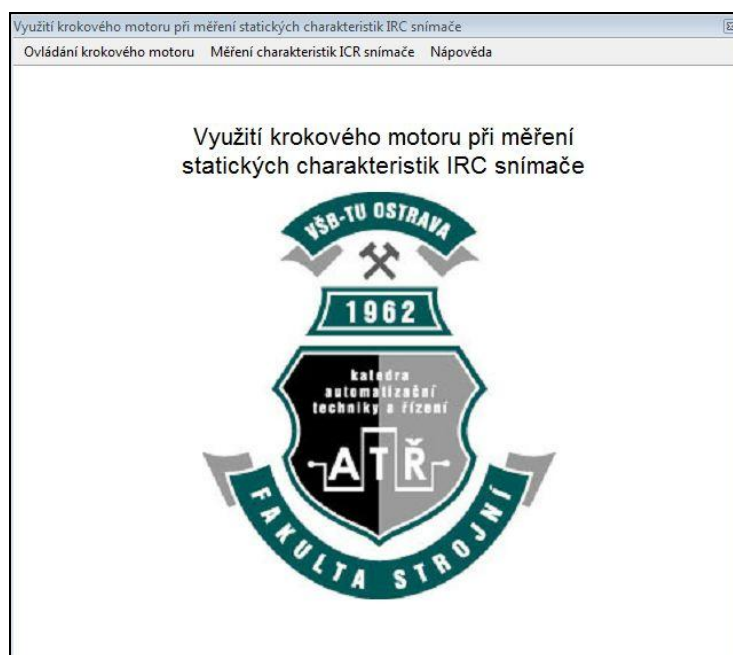
4 POPIS VYTVOŘENÉ APLIKACE V CONTROL WEB 6

V této kapitole je popsána aplikace vytvořená ve vývojovém prostředí CONTROL WEB 6. Tato aplikace umožňuje měřit statické charakteristiky IRC snímače a ovládat krokový motor dle zadávání vlastních sledu příkazů pro kontrolér M1486E1 uvedených v příloze této práce. Také je zde uvedeno, jak jednotlivé měřicí úlohy pracují a způsob jejich ovládání.

4.1 Úvodní okno aplikace

Při spuštění aplikace v CW6 dojde nejprve k otevření úvodního okna obr. 24. V tomto okně se zobrazují jednotlivá probíhající měření, která se otvírají po kliknutí na některou z nabídek v panelu nástrojů. První dvě nabídky budou podrobněji popsány v následujících bodech této kapitoly, jelikož se týkají měření statických charakteristik IRC snímače a ovládání krokového motoru.

Po kliknutí na poslední položku nabídky *Nápověda* se rozbalí lišta s dalšími volbami. Nachází se zde *Návod do cvičení*, *Popis technických prostředků* a *Přehled povelů k řízení krokového motoru*. Pro správné pochopení způsobu celého měření a jeho principu je nutné si nastudovat celý obsah nápovědy.



Obr. 24 Úvodní okno aplikace

4.2 Ovládání krokového motoru

Po kliknutí v panelu nástrojů úvodního okna na položku *Ovládání krokového motoru*, se otevře nové okno obr. 25. V seznamovací úloze je možné si ověřit znalosti povelů k ovládání krokového motoru. Ke vkládání jednotlivých povelů slouží textové okno umístěné v horní části okna, odesílání příkazů programovací jednotce je nutné potvrdit klávesou ENTER. O tom, zda byl příkaz skutečně odeslán, informuje textové okno, jež je umístěné v levé dolní části okna. Pro zastavení pohybu motoru v jakémkoliv okamžiku slouží tlačítko s názvem STOP/RESET.

Ve druhé části okna je přístroj *metr*, jenž zobrazuje výstupní pulsy z IRC snímače. Tyto pulsy jsou měřeny z jednoho výstupu IRC snímače přes analogový vstup modulu USB - 4711. Průběh a počet těchto pulsů je pouze orientační a informuje nás o tom, že se na výstupu IRC snímače pulsy skutečně objevují.

V pravé dolní části okna je tlačítko s názvem *Nápověda* a po kliknutí na něj se zobrazí podrobnější návod, jakým způsobem celá tato seznamovací úloha pracuje. Vedle této nápovědy se nachází tlačítko *Přehled povelů* a po kliknutí na něj se zobrazí všechny povely k řízení krokového motoru.



Obr. 25 Ovládání krokového motoru

4.3 Měření závislosti počtu pulsů na úhlu natočení

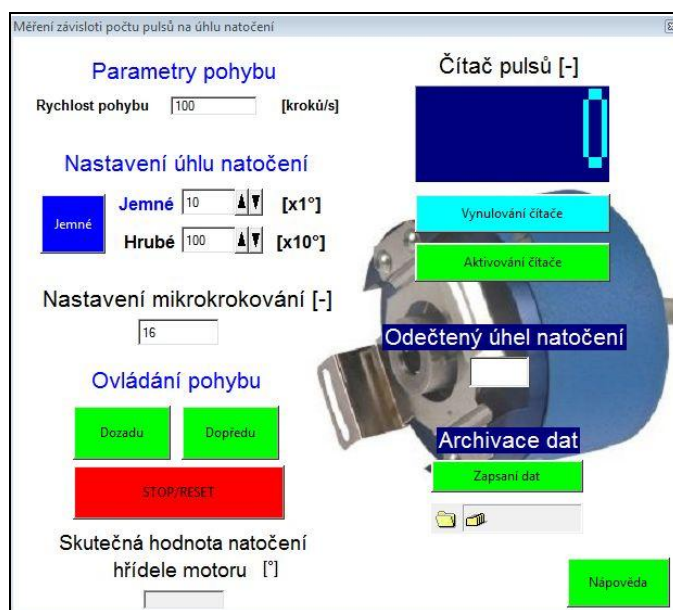
Po kliknutí v panelu nástrojů úvodního okna na položku *Měření charakteristik IRC snímače* a dále na *Měření závislosti počtu pulsů na úhlu natočení* se otevře nové okno obr. 26. V této úloze se měří první ze dvou statických charakteristik IRC snímače a to závislost počtu pulsů na úhlu natočení hřídele.

Okno této úlohy je navrženo tak, aby se v levé části nastavovaly parametry pohybu krokového motoru, zatímco pravá část okna slouží k zobrazování a ukládání naměřených hodnot. V pravém dolním rohu je umístěno tlačítko s podrobnější nápovědou k této úloze.

V první části tohoto měření je seznámení s funkcí mikrokrokování a jeho schopností ovlivňovat chod krokového motoru. Během pohybu motoru při nízkých otáčkách dochází k nežádoucím záchvěvům a rezonancím, které vnáší výraznou chybu do naměřených hodnot. Tato úloha umožňuje zadávat různé hodnoty mikrokrokování tak, aby následující měření proběhlo bez těchto chyb.

Po zadání vhodné hodnoty mikrokrokování se dále může přejít k vlastnímu měření statické charakteristiky. V parametrech pohybu se nastaví rychlost pohybu v daném rozmezí a ta se již dále během celého měření nemění. Pomocí nabídky *Ovládání pohybu* se nastaví na počátek souřadnic ručička umístěna na ose. Nejprve se zadá úhel natočení 10° pomocí ovládání v aplikaci. Takto nastavená hodnota se navíc z úhloměru odečte a následně zapíše do textového okna v aplikaci. Do databáze se poznamená změřená hodnota z čítače po zmáčknutí tlačítka *Zapsání dat*. Ke změřené hodnotě se připíše rovněž zadaná hodnota úhlu natočení, odečtena hodnota z úhloměru a také skutečný úhel natočení krokového motoru, jenž je zobrazen v levé dolní části okna. Tímto způsobem bude prováděno celé měření v obou směrech pohybu a vždy dojde k navýšení úhlu natočení o 10° .

Naměřená data je možné zobrazit po kliknutí na ikonu *složky*. Jejich zpracování je možné provést přímo v aplikaci nebo překopírováním do MS EXCEL.



Obr. 26 Měření závislosti počtu pulsů na úhlu natočení

4.4 Měření závislosti frekvence pulsů na rychlosti otáčení

Po kliknutí v panelu nástrojů úvodního okna na položku *Měření charakteristik IRC snímače* a dále na *Měření závislosti frekvence pulsů na rychlosti otáčení* se otevře nové okno obr. 27. V této úloze se měří druhá statická charakteristika IRC snímače a to závislost frekvence pulsů na rychlosti otáčení hřídele.

Rozvržení okna je velice podobné tomu v předešlém měření. Jediným rozdílem je nastavení více parametrů pohybu krokového motoru a vzorkovací frekvence.

V parametrech pohybu se rozlišuje počáteční rychlost a rychlost pohybu. Tento způsob řešení je z toho důvodu, aby se motor mohl roztáčet do vyšších rychlostí. Z nastaveného parametru rychlosti pohybu je možno odvodit počet otáček vykonaných motorem za jednu sekundu z následujícího vzorce:

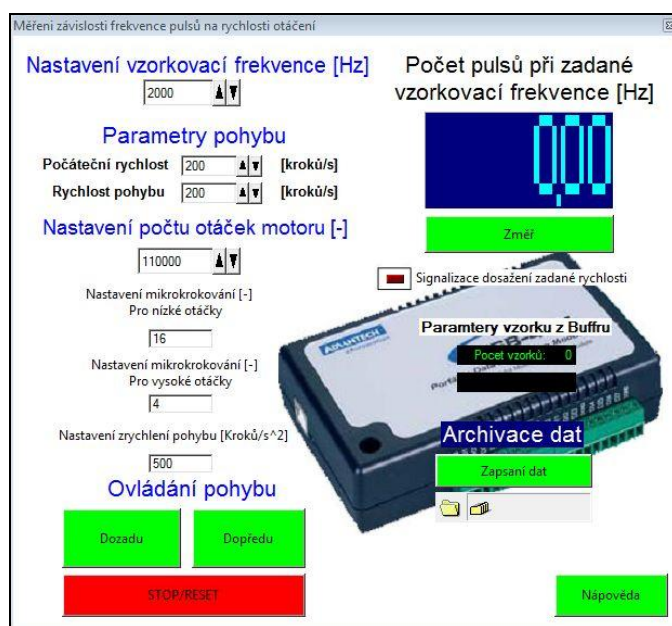
$$n = \frac{z}{200} [\text{otáček/s}] \quad (3)$$

, kde z je nastavená rychlost pohybu. Díky vysokým rychlostem, které jsou během tohoto měření nastavovány, se musí volit mikrokrokování jak pro vysoké, tak i pro nízké otáčky. Správné nastavení těchto dvou hodnot je důležité pro to, aby se krokový motor vůbec roztočil do zadané rychlosti a neztrácel krok během zrychlování.

Posledním parametrem, který se během měření nastavuje, je hodnota vzorkovací frekvence. Ta se musí volit tak, aby při dané rychlosti otáček byla dostatečná a splňovala Shannonův - Kotělníkův teorém: „Vzorkovací frekvence musí být alespoň dvakrát větší než frekvence měřeného signálu“.

Po seznámení s tímto teoretickým úvodem lze přejít k vlastnímu měření. To probíhá tak, že se k nastavené rychlosti pohybu volí vhodná vzorkovací frekvence a následně se po kliknutí tlačítka *Změř* na displeji zobrazí aktuální frekvence pulsů z výstupu IRC snímače. O dosažení zadané rychlosti pohybu krokového motoru informuje signalizační dioda. K uložení změřené frekvence pulsů a zadané rychlosti pohybu do databáze slouží tlačítko *Zapsání dat*.

Uložená data je možné si otevřít stejně jako v předešlém případě po kliknutí na ikonu *složky*. Jejich zpracování je možné provést přímo v aplikaci nebo překopírovat do programu MS EXCEL.



Obr. 27 Měření závislosti frekvence pulsů na rychlosti otáčení

ZÁVĚR

V úvodu bakalářské práce bylo nutno vyřešit návrh měřicí úlohy a typy technických prostředků v ní použitých tak, aby bylo splněno zadání této práce. Po seznámení s úlohami, které se již v laboratořích na podobné téma měřily, byly některé jejich části použity a doplněny. Hlavní rozdíl od předcházejících úloh je v tom, že hnací motor IRC snímače je krokový. Je tedy možno pomocí něj přesně nastavovat úhel natočení a rovněž rychlost pohybu. Další inovací je, že se celé měření, tzn. jak řízení krokového motoru, tak i vyhodnocování výstupních pulsů z IRC snímače, ovládá z jediné aplikace. K měření výstupních pulsů z IRC snímače je použit modul USB - 4711 od firmy ADVANTECH.

Po seznámení s firmou MICROCON pomocí internetu, která se již dlouhá léta zabývá výrobou a řízením krokových motorů, byl vybrán z jejího sortimentu nejvhodnější typ krokového motoru pro naše požadavky a to SX 17 - 0804 v přírubě NEMA17. Při výběru programovatelné jednotky byl brán v potaz typ a příkon již zmíněného motoru tak, aby bylo bezpečně zajištěno jeho napájení. Pro splnění těchto požadavků byla vybrána programovatelná jednotka typu CD20M.

Jako typ rotačního IRC snímače, na kterém budou měřeny statické charakteristiky, byl zvolen SR5825 - 500 od firmy ESSA. Tento má vhodné parametry a rozměry, díky nimž je dobře použitelný pro navržený měřicí panel.

Po seznámení se systémem Control Web 6 bylo zjištěno, že má široké možnosti v komunikaci s okolním prostředím. Například přístroj Active_x nám umožňuje do svého prostředí vkládat komponenty firmy Microsoft. Ovladače Control Web 6 podporují přijímání a vysílání ASCII znaků, možnosti čtení ze vzdálených měřicích modulů a komunikaci OPC a TCP/IP klienta. Výše zmíněný ovladač ASCII byl využit k vysílání povelů, které dále slouží k řízení krokového motoru. Další dva ovladače ADVBUF (ovladač pro rychlé aplikace) a ADVPCL (ovladač pro pomalé aplikace) jsou použity ke čtení dat z měřicího modulu USB - 4711.

V prostředí Control Web 6 byla vytvořena aplikace, která umožňuje měřit dvě statické charakteristiky IRC snímače a to závislost počtu pulsu na úhlu natočení a frekvenci pulsů v závislosti na rychlosti otáčení hřídele. Během měření těchto charakteristik je možné se seznámit s principem řízení krokového motoru, principem vyhodnocování IRC snímače, funkci mikrokrokování a také prakticky si ověřit Shannonův - Kotělníkův teorém.

Aplikace je vytvořena tak, že všechna naměřená data se mohou přímo během měření zapisovat do databáze. Data lze následně zpracovávat buď přímo v programu *InCalcu* nabízeným prostředím CONTROL WEB 6, anebo je možné jejich překopírování do rozšířeného programu MS EXCEL.

Ve vývojovém prostředí CONTROL WEB 6 existuje výkonná komponenta, která umožňuje celou aplikaci převést do http podoby. Díky výše uvedené komponentě je možné takto vytvořenou aplikaci zpřístupnit v lokální síti nebo na internetu. Tvorba této aplikace se provádí v průvodci s názvem *Průvodce webovým rozhraním*.

Pomocí průvodce byla vytvořena aplikace, ve které se zadávaly příkazy krokovému motoru přes textové okno z počítače napojeného na lokální síť. Směr dalšího řešení je v plném zpřístupnění celé aplikace včetně úloh k měření statických charakteristik IRC snímače pomocí web prohlížeče nebo na vzdáleném pracovišti v lokální síti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BÍLÝ, R., CAGAŠ, P. Control Web 2000. *Průvodce systémem pro tvorbu a nasazení aplikací reálného času*. 1. Praha: Computer Press, 1999. 382 s. ISBN 80- 7226-258-0.

CONTROL WEB 6. *Manuál*. Alcor - Moravské přístroje, a.s. [online]. [cit. 2009-15-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.mii.cz/>>.

Dekódování signálu z kvadratického enkodéru [online]. [Cit, 2009-16-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.vosrk.cz/robotika/>>.

ESSA, výrobce IRC snímačů [online]. [cit. 2009-15-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.essapraha.cz/>>.

FARANA, R., SMUTNÝ, L., VÍTEČEK A., VITEČKOVÁ, M. *Zpracování závěrečných textů z oblasti automatizace z oblasti automatizace a informatiky*. Včetně anglicko-českého slovníku automatizační techniky a řízení. 1. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 116 s. ISBN 80-248-0557-X.

GORDONĚ, L. *Komunikace řídících jednotek rotačních strojů po CAN sběrnici*. Ostrava: VŠB-TUO, kat. ATR- 352, 2009. 49 s. Bakalářská práce.

HAVLE, O. *Měřicí moduly Advantech s rozhraním USB*. AUTOMATIZACE [online]. 2007, 50, 2, [cit. 2010-28-4]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/>>.

KULHÁNEK, J. *Počítače a sítě*. Učební texty. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 1. 137 s.

MICROCON 2009, *Manuály produktů firmy MICROCON, s.r.o.* [online]. [cit: 2009-15-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.microcon.cz/>>.

MORAVSKÉ PŘÍSTROJE a.s. *Informační webový server firmy* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.mii.cz/>>.

NOVÁK, P. *Rotační inkrementální senzory*. AUTOMA [online]. 2002, 3, 10, [cit. 2010-28-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/>>.

PETRÁSEK, M., PRCHAL, J., ŠKOP, M. *Digitální telekomunikační technika*. 1. Praha: ČVUT, 1994. 216 s. ISBN 80-01-01180-1.

Regulace - Automatizace BOR. *Informace o krokových motorech* [online]. [cit. 2009-13-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.regulace.cz>>.

RITEK s.r.o. *Internetové stránky firmy* [online]. [cit: 2010-09-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.ritek.cz>>.

RS - 232 In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [cit. 2010-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-232>>.

RYDLO, P. *Krokové motory a jejich řízení*. Studijní texty [online]. Technická univerzita v Liberci, 2000, 15 s, [cit. 2009-10-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.mti.tul.cz/files/ats/krok2.pdf>>.

ŘEZAČ, K. *Robotika.cz* [online]. Krokové motory. 2002, 10, 8, [cit. 2009-10-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.robotika.cz/articles/steppers/cs>>.

SERVER REALNÝCH APLIKACÍ KATEDRY 352. Dostupný z WWW: <<http://352.lab.vsb.cz/>>.

SMUTNÝ, L. *Prostředky automatického řízení: Návod do cvičení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1993. 123 s, ISBN 80-70-78-202-1.

ŠOFER, P. *Využití SCADA/MMI systému pro podporu laboratorních měření*. Ostrava: VŠB-TUO, kat. ATR- 352, 2008. 47 s. Bakalářská práce.

USB In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [cit. 2010-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/USB>>.

SEZNAM PŘÍLOH

1. Návod do cvičení
2. Povelý pro ovládání krokového motoru pomocí kontroléru M1486E1

Příloha 1

Návod do praktických cvičení- Měření statických charakteristik rotačního IRC snímače pomocí krokového motoru

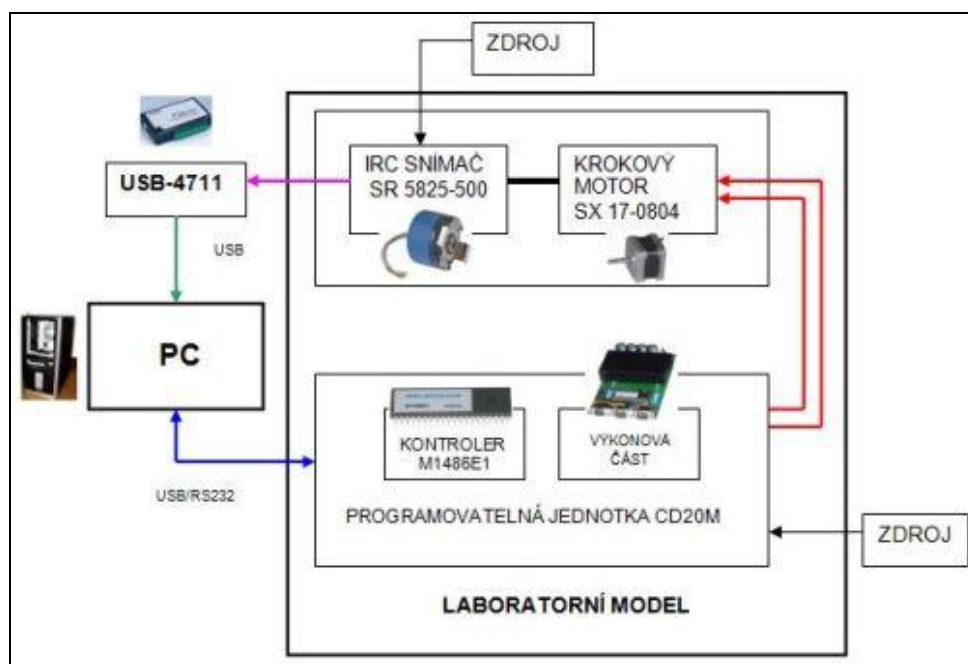
ZADÁNÍ:

1. Seznamte se s principem vyhodnocování signálu z rotačního IRC snímače SR5825 - 500 a řízením krokového motoru MICROCON SX17 - 0804 pomocí povelů.
2. Změřte statické charakteristiky IRC snímače pomocí krokového motoru
 - Závislost počtu pulsů na úhlu natočení
 - Závislost frekvence pulsů na rychlosti otáčení
3. Z naměřených hodnot vykreslete grafy a proveďte jejich vyhodnocení

POPIS ÚLOHY:

Na základním panelu je umístěn krokový motor, který je spojen pomocí hřídele k rotačnímu IRC snímači. K hřídeli je upevněna ručička, která zobrazuje na úhloměru úhel natočení. Na panelu je dále připevněna programovatelná deska CD20M, jenž zpracovává příkazy poslané z počítače přes sériovou RS - 232 a řídí krokový motor.

Celá úloha je řízená ze softwaru CONTROL WEB 6, který umožňuje posílat příkazy k řízení krokového motoru a dále i přijímá výstupní data z jednotky USB - 4711. USB - 4711 je rychlý měřicí modul od firmy ADVANTECH, pomocí něhož můžeme měřit výstupní signál z IRC snímače a dále jej zpracovávat.

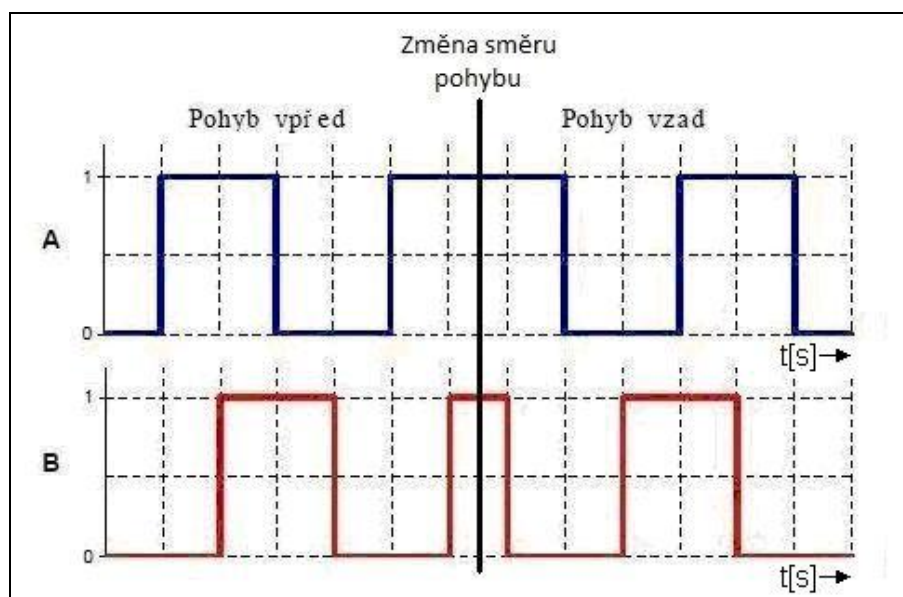


Obr. 1 Blokové schéma měřicí úlohy

PRINCIP FUNKCE ROTAČNÍHO IRC SNÍMAČE

IRC snímače jsou optoelektronické inkrementální snímače, určené pro převod rotačního pohybu na elektrické pulsy. Počet těchto pulsu je přímo úměrný úhlu natočení a jejich frekvence rychlosti otáček.

Inkrementální enkodér obvykle generuje dva obdélníkové průběhy, vzájemně posunuté o 90 stupňů, které se nazývají kanál A a kanál B. Zpracování samotného kanálu A lze získat informaci o rychlosti otáčení, pomocí druhého kanálu je možné podle sekvence stavů generovaných oběma kanály rozeznat směr otáčení viz obr. 2. K dispozici je ještě další signál, nazývaný Z nebo také nulový kanál, který udává referenční (nulovou) polohu hřídele enkodéru. Tento kanál je obdélníkový a ve fázi s kanálem A.



Obr. 2 Princip detekce směru otáčení IRC snímače prostřednictvím dvou kanálů [VOSRK 2010]

ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU POMOCÍ POVELŮ

Řízení krokového motoru se děje pomocí povelů, které jsou odesílány prostřednictvím sériové linky RS - 232 do programovatelné jednotky CD20M, ta je dále zpracovává a dává pokyny výkonové části této jednotky, jenž se stará o napájení krokového motoru.

POSTUP MĚŘENÍ

Osvojení příkazů k řízení krokového motoru a seznámení s principem vyhodnocování IRC snímače

1. Seznamte se s povely sloužící k řízení krokového motoru, které naleznete v úvodním okně pod položkou *Nápověda* a pokuste se realizovat jednoduchý program k řízení krokového motoru.
2. V úvodním okně aplikace si otevřete první úlohu s názvem *Ovládání krokového motoru*, kde si vyzkoušíte aplikovat navržený program.
3. V téže úloze si můžete prohlédnout, výstupní signál jednoho z kanálů IRC snímače, jaký má průběh během otáčení krokového motoru.

Měření závislosti počtu pulsů na úhel natočení

1. Klikněte v úvodním okně na položku *Měření charakteristik IRC snímače* a dále si vyberte *Měření závislosti počtu pulsů na úhlu natočení*. Tímto se otevře nové okno, ve kterém budete toto měření provádět.
2. Vyzkoušejte si nastavovat různé hodnoty mikrokrokování při nízkých hodnotách otáček a zjistěte, která hodnota je nejvhodnější, aby měření bylo provedeno co nejpřesněji. Pro spuštění čítače musíte nejprve kliknout na tlačítko *Aktivování čítače*.
3. Nastavte počáteční podmínky pohybu v dovoleném rozmezí, které během celého měření již měnit nebudete.
4. Pomocí *ovládání pohybu* v programu nastavte ručičku na počátek 0^0 a vynulujte čítač.
5. Poté nastavte natočení hřídele o 10^0 . Opticky se podívejte, jaký úhel ukazuje ručička na úhломěru, a tuto hodnotu запиšte do textového okna v aplikaci. Pro uložení naměřené hodnoty musíte kliknout na tlačítko *Zapsání dat*. Po zapsání hodnoty, ručičku vraťte na počátek a čítač vynulujte.
6. Opakujte bod 5 do hodnoty 360^0 a úhel natočení pokaždé navyšte 10^0 . Celé měření proveďte v obou směrech pohybu.
7. Naměřená data si můžete otevřít po kliknutí na ikonu *složky*, a buď je vyhodnotíte přímo v aplikaci, nebo je přenesete do MS EXCEL. Obě sady naměřených dat vynesete do jednoho grafu, proložte vhodnými regresními křivkami a případné rozdíly odůvodněte v závěru. Z naměřených hodnot dále vypočtete, kolik pulsů vygeneruje IRC snímač na jeden stupeň natočení hřídele.

Měření závislosti frekvence pulsů na rychlosti otáčení hřídele

1. Klikněte v úvodním okně na položku *Měření charakteristik IRC snímače* a dále si vyberte *Měření závislosti frekvence pulsů na rychlosti otáčení*. Tímto se otevře nové okno, ve kterém budete toto měření provádět.
2. Hodnotu mikrokrokování v tomto měření budete nastavovat zvlášť pro vysoké a nízké otáčky. Jejich kombinaci volte dle tabulky, která je uvedena v nápovědě

- k této úloze. Velikost zrychlení volte tak, aby doba k dosažení cílového rychlosti nebyla zbytečně dlouhá.
3. Počáteční rychlost a rychlost pohybu může být do rychlosti 1000 [kroků/s] stejná, ale nad tuto rychlost se musí hodnoty lišit, aby při rozběhu motoru nedocházelo k velkému skoku rychlosti.
 4. Během měření nastavujte rychlost pohybu v rozmezí od 200 – 5000 kroků/s po 200 kroků/s a k této hodnotě přiděluje příslušnou vzorkovací frekvenci, aby byl dodržen Shannonův - Kotělníkův teorém.
 5. O ustálení zadaných otáček informuje signalizační dioda. Pro změření frekvence pulsů při zadané vzorkovací frekvenci a rychlosti pohybu slouží tlačítko *Změř*. Zobrazenou hodnotu na displeji uložíte po kliknutí na tlačítko *Zapsání dat*.
 6. Nyní budete opakovat body 4 a 5 v obou směrech pohybu.
 7. Naměřená data si můžete otevřít po kliknutí na ikonu *složky*, a buď je vyhodnotíte přímo v aplikaci, nebo je přenesete do MS EXCEL. Obě sady naměřených dat vyneste do jednoho grafu, proložte vhodnými regresními křivkami a případné rozdíly odůvodněte v závěru.

UPOZORNĚNÍ!

V případě kdy krokový motor přestal reagovat na Vaše zadané příkazy nebo povely je nutné programovatelnou jednotku restartovat pomocí mikropsínače.

Snažte se dodržovat velikosti hodnot, které se zobrazují v nápovědě každého pole, aby se předešlo zbytečnému zablokování celé aplikace.

Příloha 2

Povely pro ovládání krokového motoru pomocí kontroléru M1486E1

**** "Reset" uvedení kontroleru do výchozího stavu

@ (Num) "Address" zadané číslo návěští se přiřadí této programové řádce

A (Num) "Acceleration" zrychlení, rozsah = 1 až 65 000 kroků/s²

B (Num) "Backward" zpět, zadání dráhy v negativním směru, rozsah = 1 až 16 000 000

C (Num 1 to 21) "Clear" nastav zadáný výstup do hodnoty logická nula, rozsah 1 až 21

C (Num 40 to 63) "Clear" potlačení zadané přídavné funkce

C75 "Clear Kill" obnovení vykonávání programu

D "Direction" směr, změna směru příštího pohybu

E "End of loop" konec smyčky

F (Num) "Forward" dopředu, zadání dráhy v pozitivním směru, rozsah = 1 až 16 000 000

G (Num) "Go absolute" dráha zadána absolutní polohou

G+ "Go positive" trvalý pohyb v pozitivním směru až do externího přerušení

G- "Go negative" trvalý pohyb v negativním směru až do externího přerušení

H "Home" vykonaj pohyb do výchozí polohy

I (Num)(Value)(Num) "If" jestliže na zadaném vstupu je zadaná hodnota skoč na zadané návěští ("H" High - logická jedna, "L" Low - logická nula)

J (Num) "Jump" skok na zadané návěští

K "Kill" okamžitý přechod do brzděného režimu, přerušení vykonávání programu

L (Num) "Loop" smyčka, opakuj provádění následujících instrukcí

M (Num) "Microstepping" počet mikrokroků na celokrok v dolním pásmu rychlostí (až do 64)

N (Num) "Number" výběr tvaru průběhu proudu při mikrokrokování

- O (Num)** "One" čekej, dokud zadaný vstup nebude mít hodnotu logická jedna
- P (Num)** "Profile" rychlost, při které se lineární rozběhová charakteristika mění na parabolickou
- Q (Num)** "Qualification" počet mikrokroků na celokrok v horním pásmu rychlostí (1, 2, 4)
- R** "Run" vykonej pohyb s aktuálními hodnotami parametru
- S (Num)** "Start/stop" rychlost start/stop; rozsah = 16 až 1950 kroků/s
- T (Num 1 to 21)** "Turn on" nastav zadaný výstup do hodnoty logická jedna, rozsah 1 až 21
- T (Num 40 to 63)** "Turn on" zapnutí zadané přídavné funkce
- U (Num)** "Upload" vyšli hodnotu čítače absolutní polohy či hodnotu interní proměnné
- V (Num)** "Velocity" maximální rychlost
- W (Num)** "Wait" čekej zadaný počet milisekund; rozsah = 1 až 16 000 000
- X (Num)** "indeX" volba kontroleru
- Z (Num)** "Zero" čekej, dokud zadaný vstup nebude mít hodnotu logická nula
- ["Disable" odklad provedení následujících povelů
-] "Enable" provedení předchozích povelů
- (**(Num)** "Seek negative" jdi na limit v negativním směru
-) **(Num)** "Seek positive" jdi na limit v pozitivním směru
- = **(Num)** "Equal" přiřazení zadané hodnoty čítači absolutní polohy
- : **(Num)** "Load" ulož zadanou hodnotu do interní proměnné
- ? **(Num)** "Query" načti data na specifikovaných vstupech a ulož do interní proměnné
- ! **(Num)** "Order" zapiš hodnotu interní proměnné na specifikované výstupy
- + **(Num)** "Add" přičti zadanou hodnotu k interní proměnné
- **(Num)** "Subtract" odečti zadanou hodnotu od interní proměnné
- / **(Num)** "Divide" dělení interní proměnné zadanou hodnotou
- * **(Num)** "Multiply" násobení interní proměnné zadanou hodnotou
- > **(Num)** "Move to register" přesun dat z interní proměnné do zadaného registru

< **(Num)** "Move from register" přesun dat ze zadaného registru do interní proměnné

' **(Num)** "Subroutine" podprogram

. **(Num)** "End of subroutine" konec podprogramu